

Client's Copy

JP5264516

© EPSON / EPO

PN - JP5264516 A 19931012
PD - 1993-10-12
PR - JP19920060387 19920317
OPD - 1992-03-17
IC - G01N29/10 ; G01H9/00 ; G01N29/00

© PAJ / JPO

PN - JP5264516 A 19931012
PD - 1993-10-12
AP - JP19920060387 19920317
IN - MIYAZAKI TAKAO; others: 01
PA - NKK CORP

TI - NONCONTACT DETECTION METHOD AND DEVICE FOR ULTRASONIC WAVE

AB - PURPOSE: To perform on-line measurement of ultrasonic wave by reducing the number of electronic circuit parts when detecting ultrasonic vibration by applying a laser beam to a target to be measured which is vibrating due to ultrasonic wave and utilizing interference of the laser beam.

- CONSTITUTION: A laser beam b is applied to a measurement target 22 which is vibrating due to ultrasonic wave, at the same time the laser beam is light-modulated by a local oscillation frequency ν_0 from a local oscillator 26b, and then an interference light e between a modulation beam d and a reflection light c from the measurement target 22 is converted to an electrical signal f. The laser beam b is diffracted by an angle θ corresponding to the frequency ν_D of an electrical signal f using an opto-acoustic optical element 34 for detecting that a diffraction angle θ of the diffraction light g is equal to that corresponding to an oscillation frequency ν_s of the measurement target 22.

SI - G01N29/00

I - G01N29/10 ; G01H9/00

BEST AVAILABLE COPY

(11)特許出願公開番号

(43)公開日 平成5年(1993)10月12日

審査請求 未請求 請求項の数 3 (全 9 頁)

(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦

-111-

【特許請求の範囲】

【請求項1】 超音波による振動が生じている測定対象に対してレーザ光を照射し、同時に前記レーザ光を局部発振器からの局部発振周波数で光変調して、この変調光と前記測定対象からの反射光との干渉光を電気信号に変換し、光音響光学素子を用いて前記レーザ光を復調しない前記電気信号の周波数に応じた角度だけ回折させ、この回折光の回折角度が前記測定対象の振動周波数に対応した回折角度になることを検出する超音波の非接触検出方法。

【請求項2】 超音波による振動が生じている測定対象に対してレーザ光を照射するレーザ光源と、このレーザ光源から出力されたレーザ光を局部発振器からの局部発振周波数で光変調して、この変調光と前記測定対象からの反射光との干渉光を出力するレーザヘテロダイン干渉計と、このレーザヘテロダイン干渉計から出力される干渉光を電気信号に変換する光電変換器と、前記レーザ光源から出力されたレーザ光を前記光電変換器から出力された復調されない電気信号の周波数に応じた角度だけ回折させる光音響光学素子と、この光音響光学素子から出力される回折光のうち前記測定対象の振動周波数に応じて定まる回折角度の回折光を検出する回折光検出部とを備えた超音波検出装置。

【請求項3】 前記回折光検出部は、前記局部発振周波数と前記測定対象の振動周波数とで定まる回折角度の光軸上に配設されたスリットと、このスリットを通過した回折光を検出する受光器とで構成された請求項2記載の超音波検出装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は超音波に加振されて振動が生じている測定対象に対してレーザ光を照射してその反射光を解析することによって前記超音波を非接触で検出する超音波の非接触検出方法および検出方法を利用した超音波検出装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 超音波探傷手法においては、水晶等の振動子を鋼板等の検査対象の表面に接触させて、この振動子にパルス状電圧を印加して超音波を発生させて、検査対象の内部へ伝播させる。そして、この超音波が検査対象内部を伝播する課程で、欠陥に遭遇すると、この欠陥にて超音波が反射されて同一振動子又は異なる振動子で検出される。

【0003】 しかし、検査対象によっては直接振動子を接触できない場合もある。このような場合のために、レーザ光を用いた超音波測定方法が提唱されている（特開昭56-53457号公報、特開昭56-164952号公報、特開昭57-50656号公報、特開昭58-131557号公報、特開昭64-69922号公報…等）。図4は特開昭56-53457号公報に記載され

たホモダイン方式を採用した超音波発信装置である。

【0004】 パルスレーザ光源1から出力されたパルス状のレーザ光線はビームスプリッタ2を透過して測定対象3の一方面に照射される。その結果、測定対象3にはパルス照射による縦波運動、すなわち超音波が発生して内部を他方面方向に伝播する。よって、超音波が到達すると測定対象3の他方面は振動する。

【0005】 測定用レーザ光源4から出力された連続したレーザ光線の一部はビームスプリッタ5を透過して測定対象3の他方面へ照射される。また、測定用レーザ光源4から出力されたレーザ光線の一部はビームスプリッタ5で反射され、反射鏡6で全反射されて再度ビームスプリッタ5へ入射する。したがって、測定対象3からの反射光は、ビームスプリッタ5でもって、反射鏡5からの反射光と干渉する。そして、その干渉光が下方の光電変換器7でもって電気信号に変換される。この電気信号は増幅器8で増幅された後、例えばCRT表示装置9に表示される。

【0006】 一方、パルスレーザ光源1から出力されたパルス状のレーザ光線の一部はビームスプリッタ2で反射されて、光電変換器10で電気信号に変換され、タイマ回路11でもって一定時間遅延された後、トリガ信号として前記CRT表示装置9に印加される。よって、CRT表示装置9には印加レーザパルスに同期して他方面の超音波振動波形が表示される。また、必要に応じて、超音波振動波形がメモリ12に記憶される。

【0007】 図5は特開昭56-164952号公報に記載されたヘテロダイン方式を採用した超音波発信装置である。このヘテロダイン方式の超音波発信装置においては、図4のホモダイン方式の超音波発信装置に加えて、光変調器13、局部発振器14およびミキサ15が組込まれている。

【0008】 そして、測定用レーザ光源4から出力されたレーザ光の一部は光変調器13およびビームスプリッタ5をそのまま透過して測定対象3へ照射される。また、測定用レーザ光源4から出力されたレーザ光の一部は光変調器13でもって局部発振器14からの局部発振周波数でもって光変調される。この変調光は反射鏡6aで全反射されてビームスプリッタ5へ入射される。測定対象3の反射光もビームスプリッタ5へ入射するので、ビームスプリッタ5において両方の光で干渉が生じる。ビームスプリッタ5から出力された干渉光は光電変換器7で電気信号に変換され、増幅器8で増幅された後、ミキサ15へ入力される。ミキサ15は入力した電気信号（中間周波数信号）を局部発振器14からの局部発振周波数信号でもって復調してCRT表示装置9およびメモリへ送出する。このように、ヘテロダイン方式を採用することによって、ミキサ15にて復調された振動信号のレベル変動を減少できるとともにS/Nを向上できる。

【0009】 次に、上述した図4のホモダイン方式およ

び図5のヘテロダイン方式における各ビームスプリッタ5から出力される干渉光を光電変換器7で電気信号に変換した場合における各光信号 I_{hom} 、 I_{het} を求める。*

$$D(t) = U \cdot \cos(2\pi\nu_s t)$$

但し、 ν_s は振動周波数、すなわち超音波の周波数である。

【0010】そして、ホモダイン方式における反射鏡6からビームスプリッタ5へ入射する参照光の振幅を A_r とし、ヘテロダイン方式における反射鏡6aからビームスプリッタ5へ入射する変調光の振幅を A_r 、周波数(搬送周波数)を ν_0 とする。また、測定対象3からビーム※

$$\begin{aligned} I_{hom} &= K_1 [A_r^2 + A_s^2 \\ &\quad + 2A_r \cdot A_s \cos\{(4\pi U/\lambda)\cos(2\pi\nu_s t) + \phi_0\}] \\ &= K_1 [A_r^2 + A_s^2 \\ &\quad + 2A_r \cdot A_s \{\cos\phi_0 - (4\pi U/\lambda)\sin\phi_0 \cos(2\pi\nu_s t)\}] \end{aligned} \quad \dots(1)$$

$$\begin{aligned} I_{het} &= K_2 [A_r^2 + A_s^2 \\ &\quad + 2A_r \cdot A_s \cos\{2\pi\nu_0 t + (4\pi U/\lambda)\cos(2\pi\nu_s t) + \phi_0\}] \\ &= K_2 [A_r^2 + A_s^2 + 2A_r \cdot A_s \{\cos(2\pi\nu_0 t + \phi_0) \\ &\quad - (2\pi U/\lambda)\sin(2\pi\nu_0 t + 2\pi\nu_s t + \phi_0) \\ &\quad - (2\pi U/\lambda)\sin(2\pi\nu_0 t - 2\pi\nu_s t + \phi_0)\}] \end{aligned} \quad \dots(2)$$

【0011】図4に示すホモダイン方式の超音波発受信装置は図5に示すヘテロダイン方式の超音波発受信装置に比較して、構成が簡単である。しかし、得られる光信号 I_{hom} は(2)式に示すように、第3項に含まれる位相差 ϕ_0 が直接光信号の感度に影響を与える。したがって、このホモダイン方式の超音波発受信装置においては、常に安定した感度を得ることが困難である。

【0012】したがって、得られる光信号に含まれるこの位相差 ϕ_0 の影響を除去または抑制するために、図5に示すヘテロダイン方式の超音波発受信装置が用いられる。この装置においては、図5に示すように、複雑な構成のヘテロダイン干渉計を用いているが、(3)式に示すように、前述した位相差 ϕ_0 は高周波振動波形の位相項に入っている。一般に、位相差 $\phi_0(t)$ の時間変動周波数領域は、変調光の周波数 ν_0 と反射光の周波数 ν_s との和 $(\nu_0 + \nu_s)$ および差 $(\nu_0 - \nu_s)$ に比較して無視できる程度の小さい値である。したがって、実用上、位相差 $\phi_0(t)$ の時間変動が検出感度に影響を与えることはない。よって、図5に示すヘテロダイン方式の超音波発受信装置の方が、図4に示すホモダイン方式の超音波発受信装置より測定精度が高い。

【0013】また、図6は別の文献 [D. Royer & E. Dieulesain, Appl. Phys. Lett. 49(17), p1057 (1986)] に示された、図5のミキサ15に代る信号処理回路16の詳細回路図である。すなわち、微小信号を高精度に復調するためには一つの出力信号を2分割して、一方をフィルタリングした後ミキシングして、再度ローパスフィルタを通す必要がある。

*測定対象3の他方面における超音波到達に起因する振動 $D(t)$ は、振幅を U として(1)式となる。

※スプリッタ5へ入射する反射光の振幅を A_s とする。また、参照光または変調光と反射光との間の位相差を ϕ_0 とする。 K_1 、 K_2 を適当な比例定数と仮定し、さらに振幅 U が波長 λ に比較して非常に小さいと仮定すると (U/λ) 、ホモダイン方式における光信号 I_{hom} およびヘテロダイン方式における光信号 I_{het} はそれぞれ(2)(3)式となる。

【0014】具体的に説明すると、ビームスプリッタ5からの干渉光は光電変換器7で電気信号に変換され、増幅器8で増幅された後、分割器16aで分割される。一方はローパスフィルタ16bおよび増幅器16cでもって差の周波数 $(\nu_0 - \nu_s)$ を有する信号が抽出され、他方は増幅器16dでもって周波数 ν_0 および周波数 $(\nu_0 \pm \nu_s)$ を有する信号が取出される。そして、ミキサ本体16aでもってこれらを信号合成し、ローパスフィルタ16fで目標とする振動周波数 ν_s の信号が作成される。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、図5、図6に示すヘテロダイン方式の超音波発受信装置においても、まだ次のような課題があった。

【0016】すなわち、図5に示すように、干渉光を電気信号に変換する光電変換器7、増幅器8およびミキサ15等の複数の電子回路が必要である。しかし、このヘテロダイン干渉計に用いられる変調光の変調周波数すなわち、搬送波周波数 ν_0 は、測定すべき超音波の周波数 ν_s との対比で決定されるが、一般に、10MHz~100MHzと非常に高い値である。したがって、上述した各電子回路は非常に高い周波数特性と非常に広い周波数帯域を要求される。また、ミキサ15においては、周波数変換および周波数解析等の複雑な機能が要求される。

【0017】さらに、干渉光の(3)式で示した光信号 I_{het} と、ミキシングを行う変調信号 $A_0 \cos(2\pi\nu_0 t + \phi_0)$ との間の位相差は一般に雑音等の影響で相関がない。そのため、ミキサ15で信号合成した後ミキサ

に含まれるフィルタを通過した信号 I_e は

$$I_e = K_s \cdot (4\pi U/\lambda) A_r \cdot A_s \cdot \sin(2\pi \nu_s t + \phi_0 - \phi_s)$$

となり、ランダムな位相ノイズの影響を受けやすい。

【0018】また、測定対象3に生じる超音波振動は、 μs 程度の短い継続時間を有したパースト波であるために、各電子回路は上述した高い周波数特性の他に高速の信号処理性能が要求される。

【0019】さらに、前述した(3)式で示すように、検出された光信号 I_{be1} に含まれる反射光の振動成分は変調光成分と比較して、 $U/\lambda = 1/1000$ 程度の非常に小さい値である。その結果、各電子回路は高い S/N を有する必要がある。また、図6に示す回路構成においては、回路が複雑となり、回路の安定動作に対して複雑な調整が必要となる欠点を有する。

【0020】以上説明したように、良好な測定結果を得るためには、各電子回路は高い周波数特性と、広い帯域特性と、高い信号処理性能と、高い S/N が要求されるので、非常に高い製造費用が必要となる。

【0021】さらに、上述した高い性能を有した電子回路を組み込んだ測定装置においては、その高帯域性、高速性、高精度性への要求が厳しいため、電子回路で信号処理する限り、リアルタイムで測定対象の振動を測定し、測定値を例えばCRT表示装置へ出力することは非常に困難であった。

【0022】よって、この測定装置を工場等の検査ラインに組み込んでオンラインでもって例えば超音波探傷を実施することは困難であった。また、リアルタイム性能を要求しない場合であっても、その技術的複雑さから、操作性および点検保守に高度の専門的知識が必要であった。

【0023】本発明はこのような事情に鑑みてなされたものであり、レーザヘテロダイン干渉計から出力される干渉光を電気信号に変換してこの電気信号でもって光音響光学素子を用いてレーザ光を回折させることによって、ミキサ回路等の電子回路の使用数を極力減少でき、簡単な構成でもって測定対象における超音波振動の有無を簡単に検出でき、製造費を大幅に低減できるとともに、充分オンライン業務に適用できる処理速度を有した超音波の非接触測定方法および超音波測定装置を提供することを目的とする。

【0024】

【課題を解決するための手段】上記課題を解消するために本発明の超音波の非接触検出方法においては、超音波による振動が生じている測定対象に対してレーザ光を照射し、同時にレーザ光を局部発振器からの局部発振周波数で光変調して、この変調光と測定対象からの反射光との干渉光を電気信号に変換し、光音響光学素子を用いてレーザ光を復調しない電気信号の周波数に応じた角度だけ回折させ、この回折光の回折角度が測定対象の振動周

波数に対応した回折角度になることを検出する。

【0025】また、本発明の超音波検出装置においては、超音波による振動が生じている測定対象に対してレーザ光を照射するレーザ光源と、このレーザ光源から出力されたレーザ光を局部発振器からの局部発振周波数で光変調して、この変調光と測定対象からの反射光との干渉光を出力するレーザヘテロダイン干渉計と、このレーザヘテロダイン干渉計から出力される干渉光を電気信号に変換する光電変換器と、レーザ光源から出力されたレーザ光を光電変換器から出力された復調されない電気信号の周波数に応じた角度だけ回折させる光音響光学素子と、この光音響光学素子から出力される回折光のうち測定対象の振動周波数に応じて定まる回折角度の回折光を検出する回折光検出部とを備えたものである。

【0026】さらに、別の発明においては、回折光検出部を、局部発振周波数と測定対象の振動周波数とで定まる回折角度の光軸上に配設されたスリットと、このスリットを通過した回折光を検出する受光器とで構成している。

【0027】

【作用】このように構成された超音波の非接触測定方法及びその装置であれば、レーザ光源から出力されたレーザ光線は超音波によって振動状態の測定対象に照射される。一方、レーザ光線の一部はレーザヘテロダイン干渉計を構成する光変調器でもって局部発振器からの局部発振周波数（搬送波周波数）でもって光変調される。そして、ビームスプリッタでもって反射光と変調光との干渉光が形成され、この干渉光が光電変換器でもって電気信号に変換されて、復調されることなく、光音響光学素子の制御端子へ入力される。

【0028】一方、レーザ光源から出力されたレーザ光線は直接光音響光学素子へ入射される。この光音響光学素子は、周知のように、入射光を制御端子へ印加されている電気信号の周波数に応じた角度だけ回折させる機能を有する。したがって、この回折角度を監視することによって、測定対象に超音波による振動が発生しているが否かが即座に検出できる。よって、複雑な演算処理や複雑な電子回路を経る事なく、超音波を例えばオンライン状態で測定可能である。

【0029】具体的には、光音響光学素子における出射光の回折角度は前述したように干渉光の周波数、すなわち変調光の局部発振周波数（搬送波周波数）と測定対象の振動周波数、すなわち超音波の周波数で一義的に定まる。よって、その回折角度の光軸上にスリットを配設して、このスリットを通過した光を受光器で検出することによって、超音波の存在が検出される。

【0030】

【実施例】以下本発明の一実施例を図面を用いて説明する。図1は実施例の超音波の非接触測定方法を採用した超音波測定装置の概略構成を示す模式図である。

【0031】例えばパルスレーザ光源等から構成された超音波印加装置21から出力されたパルス状のレーザ光線は測定対象22の一方面22aに照射される。その結果、測定対象22に超音波が発生して、この測定対象22の他方面22b方向に伝播する。したがって、測定対象22の他方面22bに超音波が到着すると所定周波数 ν_s を有するバースト状の微小振動が発生する。また、超音波印加装置21はレーザ光出力に同期する超音波トリガ同期信号aをCRT装置23のトリガ端子へ送出する。

【0032】なお、この実施例装置においては、超音波印加装置21のパルスレーザ光源としてYAGレーザを用いている。また、測定対象22は厚み73mmを有した鉄板である。

【0033】一方、測定用のレーザ光源24から出力されたレーザ光bの一部はビームスプリッタ25を透過してレーザヘテロダイン干渉計26の2つのビームスプリッタ26a、26bをそのまま透過して、集光レンズ27を経て前記測定対象22の他方面22bに照射される。そして、この測定対象22の他方面22bの反射光cは再度ビームスプリッタ26bへ入射して、このビームスプリッタ26bでもって下方に反射される。

【0034】また、レーザ光源24から出力されたレーザ光bの一部はレーザヘテロダイン干渉計26内のビームスプリッタ26aで反射されて、反射鏡26cで直角方向に反射されて光変調器26dへ入射される。光変調器26dには局部発振器26eから出力された局部発振周波数、すなわち搬送波周波数 ν_0 を有する局部発振周波数信号が制御端子に入力される。そして、この光変調器26dは入射したレーザ光bを前記搬送波周波数 ν_0 で*

$$\theta = \lambda \cdot \nu_0 / V \quad \dots (4)$$

他方、入射光のビーム径をDとすると、入射光自身の回

$$\delta \theta = k \cdot (\lambda / D) \quad k = 1 \sim 2 \text{の定数} \quad \dots (5)$$

【0038】したがって、回折角度 θ の変化量が前記ビーム径Dの広がり起因する誤差角度 $\delta \theta$ を越える条件から、最終的に検出される測定対象22における超音波★

$$\Delta \nu \geq k \cdot (V / D) \quad \dots (6)$$

【0039】ここで、代表的な数値として、 $k=2$ 、 $V=3600\text{m/s}$ 、 $D=3\text{mm}\phi$ とすると、周波数分解能 $\Delta \nu$ は2.4MHzとなる。このことは、測定対象22における超音波の振動周波数 ν_s が2.4MHz以上であれば、この超音波を充分検出できることを意味する。ちなみに、通常の超音波探傷で用いられる超音波の周波数は、通常この2.4MHz以上である。また、周波数 ν_0 成分が十分小さく、受光器38および増幅器39が飽和しなければ、周波数 ν_0 との分離は不必要であり、さらに低い周★

$$X = \theta \cdot F = \lambda \nu_0 \cdot F / V \\ = \lambda (\nu_0 \pm \nu_s) F / V \quad \dots (7)$$

【0041】次に、スリット37の幅 ΔW は、前記ビーム径Dの広がり起因する誤差角度 $\delta \theta$ を求める(5)

*光変調する。光変調器26dから出力された変調光dは反射鏡26fで再度直角方向に反射されて、ビームスプリッタ26bをそのまま透過する。

【0035】したがって、ビームスプリッタ26bでもって反射光cと変調光dとが干渉する。そして、干渉光eが集光レンズ28およびスリット29を介して光電変換器30へ入射する。光電変換器30は干渉光eを電気信号fに変換する。よってこの電気信号fは前記搬送波周波数 ν_0 と測定対象22の振動周波数 ν_s との和(差)の周波数 ν_0 ($=\nu_0 \pm \nu_s$)を有する。電気信号fは増幅器31で増幅された後、フィルタ32で局波数成分 ν_0 が減少された後、電力増幅器33で電力増幅され、光音響光学素子34の制御端子へ入力される。

【0036】レーザ光源24から出力されたレーザ光bの一部はビームスプリッタ25で反射されてスリットとレンズとからなるコリメータ35を介して前記光音響光学素子34へ入射される。

【0037】この光音響光学素子34は、図2に示すように、素子本体34aとこの素子本体34aに取付けられた超音波圧電素子34bとで構成されている。そして、超音波圧電素子34bに印加されている電気信号fが直流の場合、前記レーザ光bからなる入射光はこの光音響光学素子34をそのまま透過して、光路が曲がることはない。しかし、電気信号fが交流の場合、超音波圧電素子34bが振動するので入射光は回折される。そして、電気信号fの周波数 ν_0 が増加するとその回折角 θ が増加する。その回折角 θ は、素子本体34a内を伝播する超音波の伝播速度をVとし、入射光(レーザ光b)の波長を λ とすると、(4)式で示され

※折による広がり角度 $\delta \theta$ は(5)式で表すことができる。

★の周波数 ν_s における周波数分解能 $\Delta \nu$ として(6)式を得る。

☆波数まで検出することも可能である。光音響光学素子34にて回折された回折光gはレンズ36でスリット37に集光され、このスリット37の後方に配設された受光器38へ入射される。

【0040】図3は前記回折角 θ とスリット37の位置関係を示す図である。図示するようにレンズ36の焦点位置にスリット37が配設されており、入射光の0次光の光軸と回折光gの光軸に配設されたスリット37までの距離Xは(7)式で示される。

式の計算結果を目安として、この目安の値に検出される超音波の周波数 ν_s 自身の持つ帯域幅 $\Delta \nu$ を考慮して

決定される。ここで、代表的な数値として、 $\lambda = 632.8 \text{ nm}$ 、 $D = 3 \text{ mm}$ 、 $V = 3600 \text{ m/s}$ 、 $F = 300 \text{ mm}$ とすると、スリット幅 ΔW は下記ようになる。

$$\Delta W = F \cdot \delta \theta = 0.126 \text{ mm}$$

【0042】なお、超音波探傷においては、例えば、周波数 $\nu_1 = 10 \text{ MHz}$ 近傍の信号が検出できればよい。すなわち測定された超音波の周波数 ν_1 における高い分解能は必要でない。したがって、余裕を持たせて、前記スリット幅 ΔW は 0.26 mm 程度に設定されている ($\Delta \nu = 5 \text{ MHz}$ に相当)。

【0043】そこで、干渉光 g の周波数 ν_0 ($= \nu_0 - \nu_1$ を選択) を $7 \times 10^7 \text{ Hz}$ ($\nu_0 = 8 \times 10^7 \text{ Hz}$ 、 $\nu_1 = 10^7 \text{ Hz}$) と仮定すると、 $X = 3.7 \text{ mm}$ を得る。すなわち、 $X = 3.7 \text{ mm}$ 位置に例えば幅 $\Delta W = 0.26 \text{ mm}$ を有するスリット 37 および受光器 38 を設置することによって、周波数 $\nu_1 = 10 \text{ MHz}$ を有した超音波が検出可能である。

【0044】したがって、スリット 37 と受光器 38 とでもって、光音響光学素子 34 から出力される回折光 g のうち測定対象 22 の振動周波数 ν_1 に応じて定まる回折角度 θ の回折光 g を検出する回折光検出部を構成する。

【0045】受光器 38 で受光された回折光 g は電気信号 h に変換された後、増幅器 39 で増幅された CRT 表示装置 23 の信号入力端子へ入力される。CRT 表示装置 23 は入力された回折光 g に対応する電気信号 h を超音波印加装置 21 から送出された超音波トリガ同期信号 a に同期して表示する。したがって、CRT 表示装置の表示画面には、図示するように、同期パルス 40 および、この同期パルス位置から所定時間 $T + t_0$ 、 $3T + t_0$ 、 $5T + t_0$ 経過した位置に各次数のエコー 41a、41b、41c が表示される。なお、前記 t_0 は電子回路における遅れ時間であり、使用する電子回路によって定まる一定値である。よって、このエコー波形から欠陥の有無を検出できる。この場合、超音波が存在するか否かを判断すればよいので、超音波の検出レベルは特に問題になる場合は少ない。

【0046】このように構成された超音波測定装置であれば、レーザ光源 24 から出力されたレーザ光線 b は超音波によって振動状態にある測定対象 22 に照射される。一方、レーザヘテロダイン干渉計 26 は変調光 d と反射光 c との干渉光 e を生成する。干渉光 e は電気信号 f に変換されて復調することなく光音響光学素子 34 の制御端子へ入力される。

【0047】光音響光学素子 34 はレーザ光 b からなる入射光を制御端子へ印加されている電気信号 f の周波数 ν_1 に応じた角度だけ回折させる。したがって、この回折光 g をスリット 37 および受光器 38 で検出することによって、測定対象 22 の一方の表面における超音波の存在を検出できる。また、前述したように超音波が存在

するか否かの情報のみであれば、充分高い S/N でもって検出できる。

【0048】また、図 4、図 5、図 6 に示す従来装置のように、高周波数特性や広帯域特性や高い応答特性や高い S/N を必要とするミキサ等の電子部品の使用数を大幅に減少できる。よって、装置全体の製造費を大幅に低減できる。また、装置全体の調整や点検保守作業が簡素化される。

【0049】さらに、図 2 に示すような簡単な構造を有した光音響光学素子 34 を用いることによって、簡単に測定対象 22 の他方の表面に現れる超音波をリアルタイムで測定できる。また、高周波信号のリアルタイム検出が可能となったので、必要に応じて、高周波のパルス超音波信号のリアルタイム周波数回折も可能である。よって、製鉄工場における検査工程において、例えばまだ冷却していない高熱の薄鋼帯に対する超音波探傷をオンライン状態で実行できる。

【0050】なお、実施例装置においては、スリット 37 を一か所だけに設置した場合を示したが、例えば測定対象 22 における超音波が 2 つの周波数 ν_1 、 ν_2 を含む場合は、各周波数 ν_1 、 ν_2 に対応した各位置 X_1 、 X_2 にそれぞれ別のスリット 37a、37b および受光器 38a、38b を配設すれば、各周波数の超音波をそれぞれ個別に検出することが可能である。

【0051】

【発明の効果】以上説明したように本発明の超音波の非接触検出方法および超音波測定装置であれば、レーザヘテロダイン干渉計から出力される干渉光を電気信号に変換したのち、復調することなく、この電気信号でもって光音響光学素子を用いてレーザ光を回折させている。そして、この回折光の回折角度が所定の角度になるか否かでもって超音波の有無を判断している。

【0052】したがって、ミキサ回路等の高い周波数特性や広い帯域特性や高い感度や高い S/N が必要である電子回路の使用数を極力減少でき、簡単な構成でもって測定対象における超音波振動の有無を簡単に検出できる。よって、製造費を大幅に低減できるとともに、充分オンライン業務に適用できる処理速度を確保できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の一実施例に係わる超音波の非接触検出方法を採用した超音波測定装置の概略構成を示す模式図、

【図 2】 同実施例装置の光音響光学素子の動作を示す図、

【図 3】 同実施例装置の回折光検出部の構成を示す図、

【図 4】 従来のホモダイン方式の超音波受信装置の概略構成を示す図、

【図 5】 従来のヘテロダイン方式の超音波受信装置の概略構成を示す図、

11

12

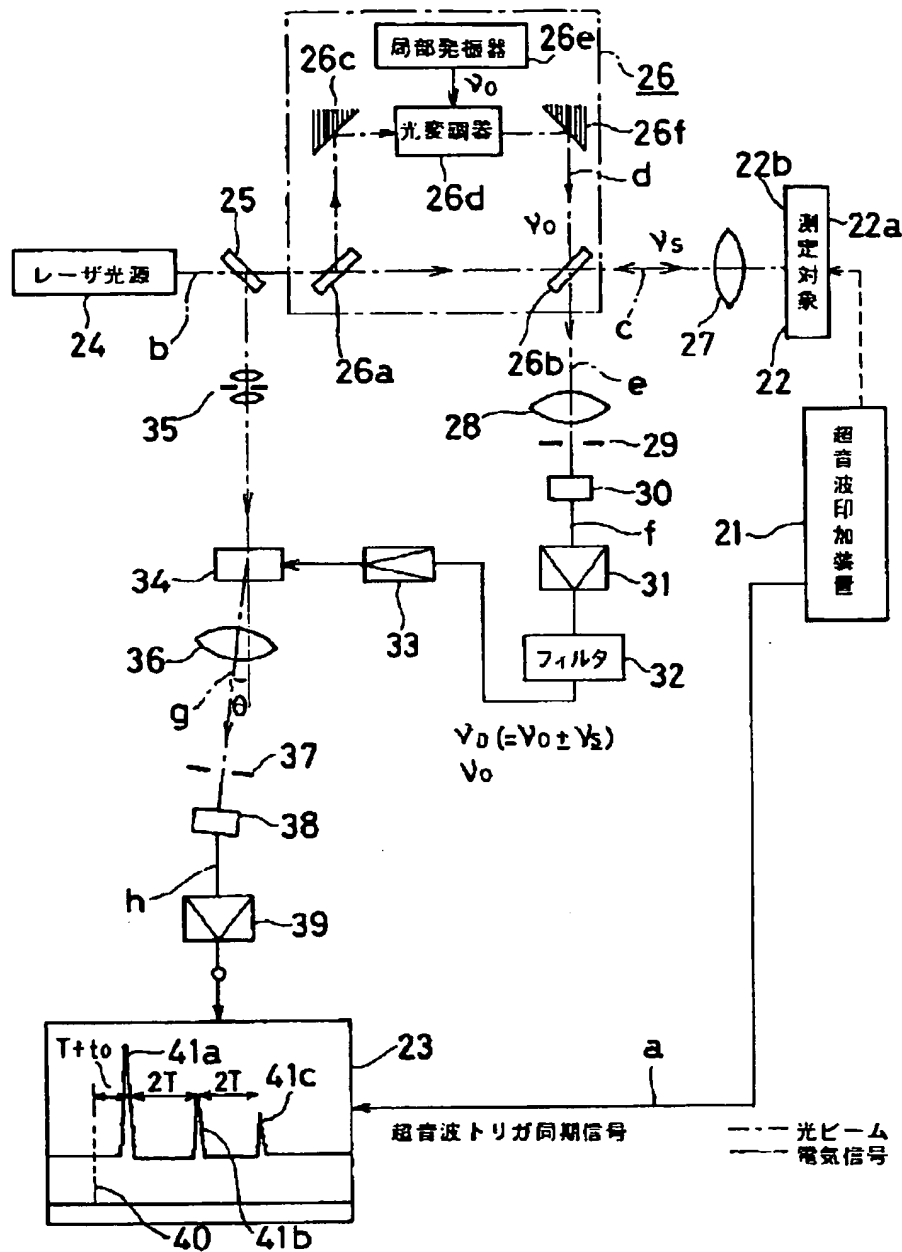
【図6】 同ヘテロダイン方式を用いた他の超音波発受信装置の要部を取出して示すブロック図。

【符号の説明】

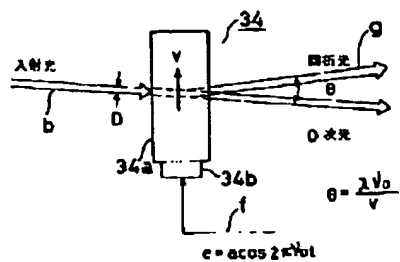
21…超音波印加装置、22…測定対象、23…CRT

表示装置、24…レーザ光源、25、26a、26b…ビームスプリッタ、26…レーザヘテロダイン干渉計、30…光電変換器、34…光音響光学素子、37…スリット、38…受光器、39…増幅器。

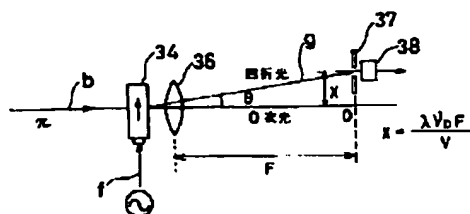
【図1】



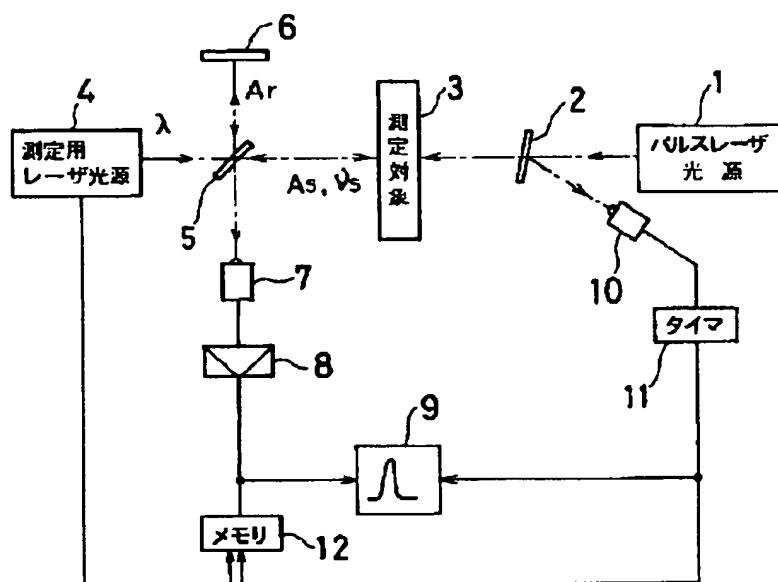
【図2】



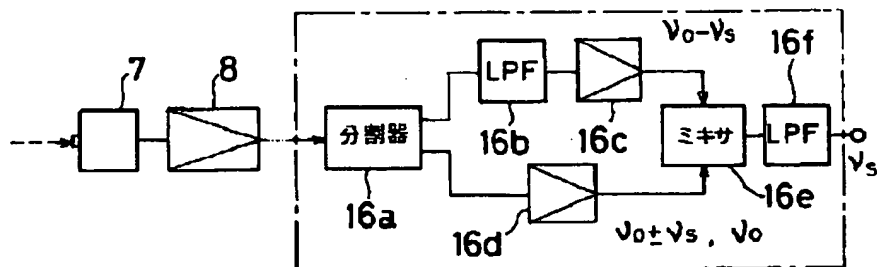
【図3】



【図4】



【図6】



【図5】

